

SCAN-TYPE ALIGNER

Patent Number: JP10223513
Publication date: 1998-08-21
Inventor(s): KOBAYASHI NAOYUKI
Applicant(s): NIKON CORP
Requested Patent: ☐ JP10223513
Application Number: JP19970027812 19970212
Priority Number(s):
IPC Classification: H01L21/027; G03F7/20
EC Classification:
Equivalents:

Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain appropriate exposure rate using a pulse beam, without reducing the stage scanning speed to the utmost, even for exposing a comparatively high sensitivity photosensitive material.

SOLUTION: The transmittivity of an ND filter for attenuating a pulse beam is reset to a max. value, the stage is set to a max. speed to obtain a min. exposure dose SD-min (step 103). For an optimum exposure dose SD which is more than SD-min for a photoresist, the stage scan speed Vscan is changed according to the dose SD (step 108). When SD

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-223513

(43) 公開日 平成10年(1998) 8月21日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

H 0 1 L 21/027

H 0 1 L 21/30

5 1 8

G 0 3 F 7/20

5 2 1

G 0 3 F 7/20

5 2 1

H 0 1 L 21/30

5 1 6 D

審査請求 未請求 請求項の数3 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号

特願平9-27812

(22) 出願日

平成9年(1997) 2月12日

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 小林 直行

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

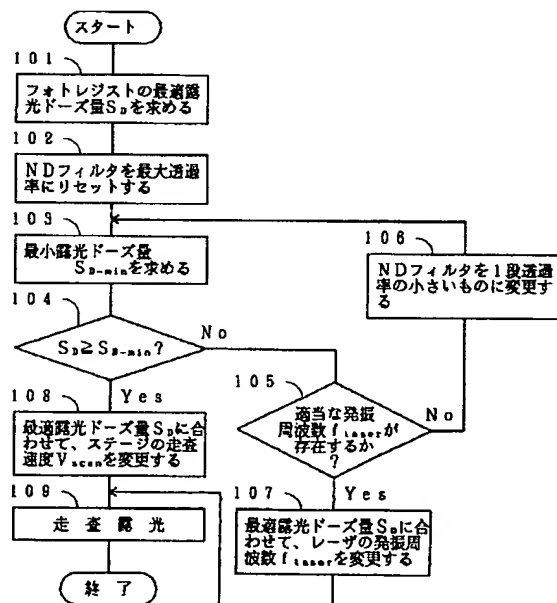
(74) 代理人 弁理士 大森 聡

(54) 【発明の名称】 走査型露光装置

(57) 【要約】

【課題】 パルス光を用いて比較的高感度の感光材料に露光する場合でも、ステージの走査速度をできるだけ低くすることなく適正な露光量を得る。

【解決手段】 パルス光を減光するためのNDフィルタの透過率を最大値にリセットして、ステージを最大速度に設定したときに得られる最小露光ドーズ量 S_{D-min} を求めた後(ステップ103)、フォトレジストに対する最適露光ドーズ量 S_D が S_{D-min} 以上であるときには、最適露光ドーズ量 S_D に合わせてステージの走査速度 V_{scan} を変更し(ステップ108)、 $S_D < S_{D-min}$ であるときには、露光パルス数が最小積算パルス数以上となる範囲で、最適露光ドーズ量 S_D に合わせてパルス光源の発振周波数 f_{laser} を制御する(ステップ105、107)。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 パルス光を出力する露光光源と、転写用パターンの形成されたマスクを移動するマスクステージと、感光基板を移動する基板ステージと、を有し、前記露光光源から供給されるパルス光に対して前記マスクステージ及び前記基板ステージを介して前記マスク及び前記感光基板を同期走査することによって、前記マスクのパターンを逐次前記感光基板上に転写する走査型露光装置において、
前記露光光源における前記パルス光の発振周波数を所定範囲内で調整するパルス周波数制御系と、
前記感光基板に対する前記パルス光の露光量の制御を行う露光量制御系と、を備え、
前記パルス光のパルスエネルギーのばらつきの影響を抑えて所定の露光量均一性を得るために最低限積算が必要なパルス数によって定まる最小露光量に対して、前記マスクステージ及び前記基板ステージの最大走査速度に応じて定まる露光量の下限値を大きく設定しておき、
前記露光量制御系は、前記感光基板に対する適正露光量が前記最小露光量と前記露光量の下限値との間にあるときに、前記パルス周波数制御系を介して前記パルス光の発振周波数を制御することによって前記感光基板に対する露光量の制御を行うことを特徴とする走査型露光装置。

【請求項2】 請求項1記載の走査型露光装置であって、
前記パルス光による前記感光基板上での露光領域の走査方向の幅を W_s 、前記基板ステージの露光時の最大走査速度を $V_{scan-MAX}$ 、露光量均一性を得るために最低限積算が必要なパルス数を N_{min} 、前記露光光源の最大発振周波数を $f_{laser-MAX}$ としたときに、次の関係が成り立つことを特徴とする走査型露光装置。

$$W_s / V_{scan-MAX} > N_{min} / f_{laser-MAX}$$

【請求項3】 請求項2記載の走査型露光装置であって、
前記感光基板上での単一の前記パルス光当たりの全照射エネルギーを E_{pulse} 、前記露光領域の非走査方向の長さを L_s 、前記露光光源の発振周波数を f_{laser} 、前記感光基板に対する適正露光量を S_D として、該適正露光量 S_D が次の範囲にあるときに、
 $S_D < (E_{pulse} \cdot f_{laser-MAX}) / (L_s \cdot V_{scan-MAX})$
前記露光量制御系は前記パルス周波数制御系を介して前記露光光源の発振周波数 f_{laser} を次の2つの条件を満たすように設定することを特徴とする走査型露光装置。
 $f_{laser-MAX} \geq f_{laser} \geq N_{min} \cdot V_{scan-MAX} / W_s$
且つ

$$S_D = (E_{pulse} \cdot f_{laser}) / (L_s \cdot V_{scan-MAX})$$

【発明の詳細な説明】

$$S_{D-min} = P_{ill} \cdot (W_s / V_{scan-MAX})$$

また、エキシマレーザのようなパルス光源を露光光源と

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えば半導体素子、撮像素子(CCD等)、液晶表示素子、又は薄膜磁気ヘッド等を製造するためのフォトリソグラフィ工程で用いられる露光装置に関し、更に詳しくはエキシマレーザ等の紫外パルス光源を露光光源として用いる走査型露光装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】半導体素子等を製造する際に、例えば投影光学系に対する負担をあまり重くすることなく比較的大きなパターンを転写するために、レチクルのパターンの一部を投影光学系を介してフォトレジストが塗布されたウエハ(又はガラスプレート等)上に投影した状態で、レチクル及びウエハを投影光学系に対して同期走査することによって、レチクルのパターン像を逐次ウエハの各ショット領域に転写露光するステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置が使用されている。

【0003】一般にフォトレジスト等の感光材料には適正露光量が定められているが、ステッパのような一括露光型の露光装置では例えば露光時間を制御することで比較的容易に適正露光量が得られる。これに対して、ステップ・アンド・スキャン方式のような走査型露光装置では、連続的に走査が行われているために単純な露光時間の制御はできない。また、解像度を高めるためには、より短波長の露光光を使用することが望ましいが、現状で使用可能な最も短波長の露光光はKrFエキシマレーザ(波長248nm)、又はArFエキシマレーザ(波長193nm)のようなエキシマレーザ光である。しかしながら、エキシマレーザ光はパルス光であるため、エキシマレーザ光を露光光とする走査型露光装置では、高度な露光量制御を行う必要がある。

【0004】即ち、走査型露光装置では、先ずレチクル及びウエハが載置される各ステージの走査速度を変えることによって、ウエハ上の各点のフォトレジストに対する露光量(以下、「露光ドーズ量」とも呼ぶ)を制御できる。この場合、高感度、即ち適正な露光ドーズ量が小さいフォトレジストを用いるときには、ステージ速度を高くすればよく、これによってスループットが向上するという利点があるため、フォトレジストの感度は年々向上している。しかしながら、ウエハステージの最大走査速度を $V_{scan-MAX}$ (cm/s)、像面(ウエハ面)での露光光の照度を P_{ill} (W/cm²)、ウエハ上でのレチクル像のスリット状の露光領域(結像領域)の走査方向の幅を W_s (cm)とおくと、ウエハステージの走査速度だけで制御できる露光ドーズ量の下限値 S_{D-min} (J/cm²)は次のようになる。

【0005】

(1)

する場合、通常パルス光ではパルス毎のエネルギーにばら

つきがあるため、露光装置の性能として必要な照度均一性を得るためには、所定の最小パルス数 N_{\min} 以上のパルス数でウエハ上の各点に露光を行って、パルスエネルギーの積算を行う必要がある。この場合、像面上に到達す

$$S'_{D-\min} = D_{\text{pulse}} \cdot N_{\min}$$

ここで、パルス光源の最大発振周波数を $f_{\text{laser-MAX}}$ (Hz)としたとき、(1)式中の像面に達する時間平均的な

$$P_{\text{ill}} = D_{\text{pulse}} \cdot f_{\text{laser-MAX}}$$

これを(1)式に代入すると、次のようになる。

$$S_{D-\min} = D_{\text{pulse}} \cdot f_{\text{laser-MAX}} \cdot W_s / V_{\text{scan-MAX}} \quad (4)$$

(2)式又は(4)式のどちらかよりも小さい露光ドーズ量に対しては、NDフィルタ等を用いてパルス光を減光しなくてはならないため、通常、使用するパルス光源と露光装置との性能バランスという観点から、従来は次

$$S_{D-\min} = S'_{D-\min}$$

この場合には(1)式、(4)式より次の関係が成立する。

$$D_{\text{pulse}} \cdot f_{\text{laser-MAX}} \cdot W_s / V_{\text{scan-MAX}} = D_{\text{pulse}} \cdot N_{\min} \quad (5)$$

$$W_s / V_{\text{scan-MAX}} = N_{\min} / f_{\text{laser-MAX}} \quad (6)$$

即ち、従来の走査型露光装置では、幅 W_s 等の装置パラメータを(5)式を満たすように設定していた。(5)式は、最大走査速度 $V_{\text{scan-MAX}}$ で幅 W_s の領域を横切るのに必要な時間と、最大発振周波数 $f_{\text{laser-MAX}}$ のパルス光で N_{\min} パルスだけ露光する時間とが等しくなることを意味している。そして、従来はフォトリソストに対する適正露光ドーズ量が(5)式以上かどうかで、減光機構としてのNDフィルタを使い分けていた。

【0009】図5は、従来の露光量制御方法の一例を示し、この図5において、先ずフォトリソストの最適露光ドーズ量 D が求められ(ステップ201)、NDフィルタの透過率が最大透過率にリセットされた後(ステップ202)、(4)式の最小露光ドーズ量 $S_{D-\min}$ (ここでは(2)式の $S'_{D-\min}$ と同じ)が算出される(ステップ203)。そして、ステップ204で最適露光ドーズ量 D が最小露光ドーズ量 $S_{D-\min}$ より小さい場合には、ステップ205でNDフィルタの透過率を1段低いものに変えてからステップ203に戻り、 $D \geq S_{D-\min}$ となるまでNDフィルタの透過率が次第に低く設定される。その後、ステップ205からステップ206に移行して、最適露光ドーズ量 D に合わせてウエハステージの走査速度 V_{scan} が変更された後(同様にレチクルステージの走査速度も変更される)、ステップ207で走査露光が行われていた。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】上記の如く従来のパルス光源を用いる走査型露光装置においては、装置パラメータで決定される、減光せずに露光できる最小露光ドーズ量があり、これより小さい露光ドーズ量に対してはNDフィルタ等の減光機構を用いて露光ドーズ量の調整を行っていた。この場合、その減光機構として一般的に使

る1パルス光当たりのエネルギーを D_{pulse} とすると、積算パルス露光によって決まる最小露光ドーズ量 $S'_{D-\min}$ (J/cm²)は、次のようになる。

【0006】

(2)

照度 P_{ill} は、次のようになる。

(3)

【0007】

のように(4)式の $S_{D-\min}$ と(2)式の $S'_{D-\min}$ とを等しく置いていた。

【0008】

(5)

\min

この式は次のように簡略化できる。

用されているNDフィルタは、エキシマレーザ光のような紫外領域の露光光については任意の透過率を持ったフィルタを作製するのが非常に困難であるため、作製可能な透過率のフィルタを複数枚用意し、これらを組み合わせることにより複数段階の離散的な透過率を設定できるようにして、それらの中から必要な透過率に近い透過率を選択していた。

【0011】しかしながら、そのように透過率を離散的な複数の透過率の何れかに設定する場合には、(4)式の最小露光ドーズ量 $S_{D-\min}$ は目的とする露光ドーズ量に対して許容範囲内に収まらない場合が多く、この場合には図5に示したように、更にステージ速度を下げることで必要な露光ドーズ量に調整していた。そのため、本来は短時間に低い露光ドーズ量で感光できる高感度のフォトリソストを使用した場合であっても、低いステージ速度で露光せざるを得なくなって、スループットは逆に低下するという不都合があった。

【0012】また、減光機構としてNDフィルタ以外に、パルス光に対する透過率を連続的に正確に変更できる部材があればよいわけであるが、そのような部材は紫外領域では使用が困難であるか、又は光量損失が大きく最大透過率を100%近くにできないために、パルス光の利用効率が悪化するという不都合がある。更に、減光機構を使用する代わりに、又は減光機構と併用する形で露光光源の出力(パルスエネルギー)を或る程度連続的に制御できれば、ステージの走査速度を最大速度に維持できる可能性がある。しかしながら、エキシマレーザ等のパルスレーザ光源においては、パルス光の出力を変更するとパルスエネルギーのばらつきの増大等の副作用がもたらされる恐れがある。

【0013】本発明は斯かる点に鑑み、パルス光を用い

て比較的高感度の感光材料に露光する場合でも、ステージの走査速度をできるだけ低くすることなく適正な露光量で露光を行うことができる走査型露光装置を提供することを目的とする。

【0014】

【課題を解決するための手段】本発明による走査型露光装置は、パルス光を出力する露光光源(2)と、転写用パターン形成されたマスク(R)を移動するマスクステージ(15)と、感光基板(W)を移動する基板ステージ(19)と、を有し、露光光源(2)から供給されるパルス光に対してマスクステージ(15)及び基板ステージ(9)を介してマスク(R)及び感光基板(W)を同期走査することによって、マスク(R)のパターンを逐次感光基板(W)上に転写する走査型露光装置において、露光光源(2)におけるパルス光の発振周波数を所定範囲内で調整するパルス周波数制御系(22)と、感光基板(W)に対するそのパルス光の露光量の制御を行う露光量制御系(13)と、を備え、そのパルス光のパルスエネルギーのばらつきの影響を抑えて所定の露光量均一性を得るために最低限積算が必要なパルス数によって定まる最小露光量 S'_{D-min} に対して、マスクステージ(15)及び基板ステージ(19)の最大走査速度に応じて定まる露光量の下限値 S_{D-min} を大きく設定しておく。即ち、次式を満たすようにする。

$$【0015】 S_{D-min} > S'_{D-min} \quad (7)$$

そして、露光量制御系(13)は、感光基板(W)に対する適正露光量がその最小露光量 S'_{D-min} とその露光量の下限値 S_{D-min} との間にあるときに、パルス周波数制御系(22)を介してそのパルス光の発振周波数を制御することによって感光基板(W)に対する露光量の制御を行うものである。

【0016】斯かる本発明は、露光光源(2)としてエキシマレーザ等のパルスレーザ光源を使用した場合に、単一パルス光当たりのエネルギー量を一定にしたまま、且つ副作用を生じることなく発振周波数を容易に変更することが可能であることに着目し、露光光源(2)の発振周波数の制御によって所定範囲内で感光基板(W)に対する露光量を制御するものである。これによって、種々

$$S_{D-min} = (E_{pulse} \cdot f_{laser-MAX}) / (L_s \cdot V_{scan-MAX})$$

従って、適正露光量 $< S_{D-min}$ の関係は次式と同じである。

$$S_D < (E_{pulse} \cdot f_{laser-MAX}) / (L_s \cdot V_{scan-MAX}) \quad (9)$$

この関係が成立する範囲では、露光量制御系(13)はパルス周波数制御系(22)を介して露光光源(2)の

$$f_{laser-MAX} \geq f_{laser} \geq N_{min} \cdot V_{scan-MAX} / W_s \quad (10)$$

$$S_D = (E_{pulse} \cdot f_{laser}) / (L_s \cdot V_{scan-MAX}) \quad (11)$$

その(10)式は、走査中に積算できるパルス数Nが最小積算パルス数 N_{min} 以上の状態を維持するための条件である。即ち、パルス数Nは次のようになる。

【0022】

の感度を有する感光基板に対して、ステージ速度を最高速度に維持した状態で適正露光量が得られる範囲が広がるため、露光工程のスループットが向上する。

【0017】本発明において、パルス光による感光基板(W)上での露光領域(31)の走査方向の幅を W_s 、基板ステージ(19)の露光時の最大走査速度を $V_{scan-MAX}$ 、露光量均一性を得るために最低限積算が必要なパルス数を N_{min} 、露光光源(2)の最大発振周波数を $f_{laser-MAX}$ とすると、(7)式が成立するときには次の関係が成り立つ。

【0018】

$$W_s / V_{scan-MAX} > N_{min} / f_{laser-MAX} \quad (8)$$

即ち、積算パルス露光によって決まる最小露光量 S'_{D-min} は(2)式となり、ステージ速度によって定まる

露光量の下限値 S_{D-min} は(4)式となるため、これらを(7)式に代入すると(8)式が得られる。(8)式中で幅 W_s は通常は装置定数であり、発振周波数及びステージ速度はそれぞれ $f_{laser-MAX}$ 及び $V_{scan-MAX}$ より小さい値を取ることができ、露光パルス数は N_{min} より大きい値が可能であることに注意しながら、感光基板の感度に応じて大きい露光量から小さい露光量に下げている場合の露光装置の対応を考える。

【0019】まず、適正露光量が露光量の下限値 S_{D-min} より大きい範囲では、露光光源の発振周波数は最大値 $f_{laser-MAX}$ のままで、基板ステージの走査速度を

変化させることで露光量を変化させる。その適正露光量が小さくなってくると、先にも述べたように露光パルス数が最小積算パルス数 N_{min} に達する前に、ステージ速度が最大走査速度 $V_{scan-MAX}$ に達する。この状態が、適正露光量 $= S_{D-min}$ である。更に小さい適正露光量 S_D に対しては、適正露光量 $< S_{D-min}$ となる。

【0020】この場合、感光基板(W)上での単一のパルス光当たりの全照射エネルギーを E_{pulse} 、露光領域(31)の非走査方向の長さを L_s 、露光光源(2)の発振周波数を f_{laser} 、感光基板(W)に対する適正露光量を S_D とすると、露光量の下限値 S_{D-min} は次のようになる。

【0021】

発振周波数 f_{laser} を次の2つの条件を共に満たすように最大発振周波数以下に設定することが望ましい。

$$N = (W_s / V_{scan-MAX}) \cdot f_{laser} \geq N_{min}$$

この式を変形すると(10)式の右側の関係式が得られる。また、(11)式は適正露光量 S_D からパルス光の発振周波数 f_{laser} を求めるための式である。このとき

ステージ速度を最大に保ったまま露光できるのでスループットは最大となる。

【0023】また、適正露光量 S_D が更に低下して最小露光量 S_{D-min} より小さくなると、(10)式が成立しなくなるため、従来と同様にNDフィルタ等の離散的な減光機構を用いて単一パルス光当たりのエネルギーを下げる。このように離散的な減光機構によりパルス光を減光した状態でも、ステージ速度を最大走査速度のままにして露光量を制御できる範囲が広いので、スループットの低下を最小限に抑えることが可能になる。

【0024】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態の一例につき図1～図4を参照して説明する。本例は、パルス発振型の露光光源を有するステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置に本発明を適用したものである。図1は、本例の投影露光装置の概略構成を示し、この図1において、露光時には光源系1内のエキシマレーザ光源2から可変周波数のパルスレーザ光L Bが出力される。エキシマレーザ光源2としては、KrFエキシマレーザ（発振波長248nm）やArFエキシマレーザ（発振波長193nm）等が使用できる。なお、露光光源として金属蒸気レーザ光源やYAGレーザの高調波発生装置等の他のパルス光源を使用してもよい。

【0025】本例のエキシマレーザ光源2は、レーザ電源22の制御によって発振周波数 f_{laser} が可変となっている。エキシマレーザ光源2の発振は、例えばコンデンサに充電した電荷をトリガーパルスで開放することによる放電励起で行われるため、レーザ電源22ではそのトリガーパルスの周波数を制御することでエキシマレーザ光源2の発振周波数 f_{laser} を制御することができる。最大発振周波数を $f_{laser-MAX}$ とすると、パルスエネルギーの変動等の悪影響を与えることなく発振周波数 f_{laser} を可変できる範囲は、一例として $0.9 \cdot f_{laser-MAX} \sim f_{laser-MAX}$ 程度である。装置全体の動作を統轄制御する主制御系14が、レーザ電源22に対してパルス発振の開始及び終了を指令し、後述の露光量制御系13がレーザ電源22に対して発振周波数 f_{laser} を設定する。

【0026】エキシマレーザ光源2から射出されたパルスレーザ光L Bは、ビーム整形光学系3により、後続のフライアイレンズ8等に効率よく入射するようにビームの断面形状が整形される。ビーム整形光学系3から射出されたパルスレーザ光L Bは、減光機構としての可変NDフィルタ板4に入射する。可変NDフィルタ板4は、パルスレーザ光L Bに対する透過率が100%（素通し）から順次所定の比率で離散的に低下する複数枚のNDフィルタを円板上に配置したものであり、露光量制御系13が駆動部4aを介して可変NDフィルタ板4を回転することによって、所望の透過率のNDフィルタをパルスレーザ光L Bの光路に配置できるように構成されて

いる。

【0027】可変NDフィルタ板4を通過したパルスレーザ光L Bは、光路折り曲げ系5中の2つのミラー6A及び6Bを経て、照明系7中の照度分布均一化用のフライアイレンズ8に入射する。フライアイレンズ8の射出面には、照明系の開口絞り（不図示）が配置され、その開口絞りを通過したパルスレーザ光L Bは、反射率が小さく透過率の大きなビームスプリッタ9に入射する。ビームスプリッタ9を透過したパルスレーザ光L Bは第1リレーレンズ10Aを経て視野絞り11に入射する。視野絞り11は、スリット幅が固定の固定視野絞り、及び随時開口を閉じることができる可変視野絞りから構成され、可変視野絞りを閉じることによって不要部分への露光が防止される。視野絞り11を通過したパルスレーザ光L Bは、第2リレーレンズ10B、不図示のコンデンサレンズ、及び不図示の光路折り曲げ用のミラーを介してレチクルR上のX方向に長い長方形の照明領域を均一な照度分布で照明する。パルスレーザ光L Bのもとで、レチクルR上の照明領域内のパターン像が投影光学系PLを介して投影倍率 β （ β は例えば $1/4$ 、 $1/5$ 等）でウエハW上に転写される。ウエハWの表面には所定の感度を有するフォトリソグが塗布されている。

【0028】一方、照明系7中のビームスプリッタ9で反射されたパルスレーザ光L Bは、光電変換素子よりなるインテグレートセンサ12で受光され、インテグレートセンサ12の検出信号が露光量制御系13に供給される。露光量制御系13内の記憶部には、予め求めてあるインテグレートセンサ12の検出信号とウエハW上でのパルスレーザ光L Bの実際の照射エネルギーとの関係が記憶されており、露光量制御系13は、インテグレートセンサ13の検出信号よりパルスレーザ光L Bのウエハ上に換算したパルスエネルギー及びそのばらつきを計測し、この計測結果等に基づいてエキシマレーザ光源2の発振周波数 f_{laser} を設定すると共に、これらの結果を主制御系14に出力する。また、主制御系14は露光条件のデータ等を露光量制御系13に供給する。

【0029】次に、投影光学系PLの光軸AXに平行にZ軸を取り、そのZ軸に垂直な平面内で、図1の紙面に平行にX軸を、図1の紙面に垂直にY軸を取ってステージ系につき説明する。まず、レチクルRはY方向に連続移動可能なレチクルステージ15上に保持され、レチクルステージ15（レチクルR）の位置はレーザ干渉計16により計測され、レーザ干渉計16の計測値は主制御系14に供給されている。主制御系14はその計測値に基づいて、リニアモータ等のレチクルステージ駆動系17を介してレチクルステージ15の走査及び位置補正の動作を制御する。

【0030】一方、ウエハWは不図示のウエハホルダを介してZ方向への移動、及び傾斜角の補正等が可能なZチルトステージ18上に保持されており、Zチルトステ

ージ18はY方向に連続移動可能でX方向にも移動可能なXYステージ19上に載置されている。Zチルトステージ18(ウエハW)の位置はレーザ干渉計20により計測され、その計測値が主制御系14に供給されている。主制御系14はその計測値に基づいて、送りねじ方式の駆動モータ等のウエハステージ駆動系21を介してXYステージ19の走査及びステッピング動作を制御する。Zチルトステージ18、及びXYステージ19よりウエハステージが構成されている。

【0031】この場合、ウエハW上の各ショット領域間の移動はXYステージ19によるステッピング動作で行われる。そして、各ショット領域への走査露光時には、投影光学系PLの投影倍率 β を用いて、レチクルRがレチクルステージ15を介して照明領域に対して+Y方向(又は-Y方向)に速度 V_R で走査されるのに同期して、ウエハWはXYステージ19を介して-Y方向(又は+Y方向)に速度 $\beta \cdot V_R$ で走査される。

【0032】図2は、走査露光時のウエハW上の露光対象のショット領域32を示し、この図2において、ショット領域32上のX方向に長い長方形の露光領域31にレチクルRのパターンの一部の像が投影されている。そして、走査露光によって露光領域31に対してショット領域32が-Y方向(又は+Y方向)に走査されることで、ショット領域32の全面にレチクルRの全部のパターン像が転写される。このように走査露光時にはレチクルステージ15、及びウエハ側のXYステージ19はY

$$V_{scan} = W_s / (S_D / P_{ill})$$

ところが、XYステージ19の走査速度には最大走査速度 $V_{scan-MAX}$ という上限値があるため、XYステージ19(更にレチクルステージ15)の速度調整だけで変え

$$S_{D-min} = P_{ill} \cdot (W_s / V_{scan-MAX}) \quad (22)$$

適正な露光ドーズ量 S_D が(22)式の下限值より小さい場合は、ステージ速度だけでは調整ができないために、本例ではエキシマレーザ光源2の発振周波数制御、又は可変NDフィルタ板4の透過率の制御等を行う。また、本例のようにパルスレーザ光LBを露光光として使用する場合、パルスレーザ光では1パルス毎のエネルギーにばらつきがあるため、幾つかのパルス光を像面上で積

$$\delta E_N = \delta E_1 / N^{1/2}$$

本例では図1のエキシマレーザ光源2を例えばダミー発光させて、インテグレートセンサ12によって実際に各パルス光のエネルギーを計測し、露光量制御系13で計測結果の標準偏差等を求めることによって、1パルスのエネルギーのばらつき δE_1 を求めることができる。そして、露光装置の性能として必要な照度均一性を得るための積算エネルギーのばらつき δE_N は予め設定されているため、露光量制御系13では、(23)式より求めた露

$$D_{pulse} = E_{pulse} / (W_s \cdot L_s) \quad (J/cm^2) \quad (24)$$

従って、最小積算パルス数 N_{min} によって決まる最小露光ドーズ量 $S'_{D-min} (J/cm^2)$ は、次のようになる。

方向に投影倍率 β を速度比として走査されるため、レチクルステージ15又はXYステージ19の一方の最大走査速度で両者の最大走査速度が決定される。このようにして定まるウエハ側のXYステージ19の最大走査速度を $V_{scan-MAX}$ として、XYステージ19の走査速度を V_{scan} とする。

【0033】さて、本例のステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置においても、ウエハW上のフォトレジストには適正な露光ドーズ量が定められており、その情報は露光データファイルとして主制御系14及び露光量制御系13に入力されている。そして、露光時にはウエハW上の各点に対する露光ドーズ量がその適正值に対して許容範囲内に収まるように露光量制御が行われる。本例ではステージの走査速度、エキシマレーザ光源2の発振周波数 f_{laser} 、及び可変NDフィルタ板4における透過率(減光率)の制御を組み合わせる露光量制御を行う。

【0034】ここで、本例の露光量制御の原理につき説明する。先ず、ステージの走査速度だけで露光ドーズ量の制御を行うものとして、フォトレジストの適正な露光ドーズ量を $S_D (J/cm^2)$ 、ウエハの表面(像面)上でのパルスレーザ光LBの照度を $P_{ill} (W/cm^2)$ 、図2の露光領域31の走査方向の幅を $W_s (cm)$ とおくと、ウエハ側のXYステージ19の走査速度 V_{scan} は、次式で与えられる。

$$V_{scan} = W_s / (S_D / P_{ill}) \quad (21)$$

ることのできる露光ドーズ量には、(21)式に対応した次のような下限値 S_{D-min} がある。

$$S_{D-min} = P_{ill} \cdot (W_s / V_{scan-MAX}) \quad (22)$$

算することで必要とする照度均一性を達成する。即ち、パルス毎のエネルギーばらつきの分布がほぼガウス型分布に従うとして、1パルスのエネルギーのばらつきを δE_1 とすると、Nパルス積算した場合のエネルギーのばらつき δE_N は、次式で与えられ、露光パルス数Nの平方根に反比例して小さくなる。

$$\delta E_N = \delta E_1 / N^{1/2} \quad (23)$$

光パルス数Nを最低限積算が必要な最小積算パルス数 N_{min} として記憶する。

【0038】また、像面上に到達する1パルス当たりのパルスレーザ光LBのエネルギーを $E_{pulse} (J)$ 、図2に示す露光領域31の非走査方向(X方向)の長さを $L_s (cm)$ とすると、1パルスで像面の単位面積当たり到達するエネルギー D_{pulse} は次のようになる。

$$D_{pulse} = E_{pulse} / (W_s \cdot L_s) \quad (J/cm^2) \quad (24)$$

【0039】

$$\begin{aligned} S'_{D-\min} &= D_{\text{pulse}} \cdot N_{\min} \\ &= E_{\text{pulse}} \cdot N_{\min} / (W_S \cdot L_S) \quad (25) \end{aligned}$$

この式で与えられる最小露光ドーズ量 $S'_{D-\min}$ より小さい露光ドーズ量を持つフォトレジストに対しては、図1の可変NDフィルタ板4の透過率を小さくすることにより、単一パルス当たりのエネルギーを小さくして対応しなければならない。

$$\begin{aligned} P_{\text{ill}} &= D_{\text{pulse}} \cdot f_{\text{laser-MAX}} \\ &= E_{\text{pulse}} \cdot f_{\text{laser-MAX}} / (W_S \cdot L_S) \quad (26) \end{aligned}$$

これを(22)式に代入すると次式が得られる。

$$\begin{aligned} S_{D-\min} &= \{ E_{\text{pulse}} \cdot f_{\text{laser-MAX}} / (W_S \cdot L_S) \} \cdot (W_S / V_{\text{scan-MAX}}) \\ &= (E_{\text{pulse}} \cdot f_{\text{laser-MAX}}) / (L_S \cdot V_{\text{scan-MAX}}) \quad (27) \end{aligned}$$

(25)式が主にエキシマレーザ光源2の性能から決まる減光せずに露光が可能な露光ドーズ量の制限であるのに対し、(27)式はレーザ光源以外にステージの性能も入ってきている。これに関して、本例の投影露光装置は、(27)式のステージの最大走査速度で決まる露光

$$S_{D-\min} > S'_{D-\min}$$

(28)式に(25)式と(27)式とを代入して整理

$$W_S / V_{\text{scan-MAX}} > N_{\min} / f_{\text{laser-MAX}} \quad (29)$$

この中で露光領域31の走査方向の幅 W_S は装置定数であり、エキシマレーザ光源2の発振周波数 f_{laser} 及びXYステージ19の走査速度 V_{scan} はそれぞれ $f_{\text{laser-MAX}}$ 及び $V_{\text{scan-MAX}}$ より小さい値を取ることができ、露光パルス数 N は N_{\min} より大きい値が可能である。以上の露光量制御の原理に基づいた、具体的な露光量制御の一例につき図3のフローチャートを参照して説明する。

【0043】 先ず、図3のステップ101で、図1の主制御系14は露光対象のウエハW上のフォトレジストの最適露光ドーズ量 S_D を露光データファイルより求める。この最適露光ドーズ量 S_D は露光量制御系13にも供給され、ステップ102で露光量制御系13は可変NDフィルタ板4の透過率を最大透過率（ここでは100%）にリセットする。更に、露光量制御系13はレーザ電源22に対してエキシマレーザ光源2の発振周波数を最大発振周波数 $f_{\text{laser-MAX}}$ に設定する。次に、ステップ103において、主制御系14が図1の照明系7中の視野絞り11中の可変視野絞りを閉じた状態で、レーザ電源22を介してエキシマレーザ光源2にダミーでパルス発振を開始させるのに応じて、露光量制御系13はインテグレートセンサ12を介して像面に入射するパルスレーザ光LBの1パルス当たりのエネルギー E_{pulse} を求めた後、(27)式からステージの最大走査速度で決

$$S_D = (E_{\text{pulse}} \cdot f_{\text{laser}}) / (L_S \cdot V_{\text{scan-MAX}}) \quad (30)$$

また、発振周波数が f_{laser} であるときの露光パルス数

$$N = (W_S / V_{\text{scan-MAX}}) \cdot f_{\text{laser}} \quad (31)$$

従って、この露光パルス数 N が最小露光パルス数 N_{\min}

以上である条件は次のようになる。

$$(W_S / V_{\text{scan-MAX}}) \cdot f_{\text{laser}} \geq N_{\min} \quad (32)$$

【0040】 ここで、(22)式と(25)式との関係を見る。エキシマレーザ光源2の最大発振周波数は $f_{\text{laser-MAX}}$ (Hz) であるため、像面に達するパルスレーザ光LBの時間平均的な照度 P_{ill} (W/cm²) は、次のようになる。

【0041】

ドーズ量の下限値 $S_{D-\min}$ が、次式のように最小積算パルス数で決まる最小露光ドーズ量 $S'_{D-\min}$ よりも大きくなるように設定されている。

【0042】

$$(28)$$

すると、次式が得られる。

$$(29)$$

また露光ドーズ量の下限値 $S_{D-\min}$ を求める。

【0044】 それに続くステップ104において、露光量制御系13は最適露光ドーズ量 S_D をその下限値 $S_{D-\min}$ と比較し、 $S_D \geq S_{D-\min}$ であるときには、ステップ108に移行して、(21)式よりXYステージ19の走査速度 V_{scan} を決定する。(21)式中の P_{ill} は、(26)式より算出される。その後、走査速度 V_{scan} は主制御系14に供給され、ステップ109において、その走査速度 V_{scan} に基づいて走査露光が行われる。これによって、ウエハW上のフォトレジストは最適露光ドーズ量 S_D で露光される。

【0045】 次に、ステップ104で、最適露光ドーズ量 S_D がその下限値 $S_{D-\min}$ より小さいときには、ステップ105に移行して、露光量制御系13はエキシマレーザ光源2の最適な発振周波数 f_{laser} が存在するかどうかを調べる。この場合、発振周波数 f_{laser} は最大発振周波数 $f_{\text{laser-MAX}}$ 以下で、且つ露光パルス数 N が最小露光パルス数 N_{\min} より小さくならない範囲で選択される。先ず、最適な露光ドーズ量 S_D 及び発振周波数 f_{laser} をそれぞれ(27)式の $S_{D-\min}$ 及び $f_{\text{laser-MAX}}$ に代入することによって、最適な露光ドーズ量 S_D を得るためのエキシマレーザ光源2の発振周波数 f_{laser} を次式から求める。

【0046】

$$N \text{ は次のようになる。}$$

$$(31)$$

【0047】

(32)式と、発振周波数 f_{laser} は $f_{\text{laser-MAX}}$ 以下

$$f_{\text{laser-MAX}} \geq f_{\text{laser}} \geq (N_{\text{min}} \cdot V_{\text{scan-MAX}}) / W_s \quad (33)$$

そこで、露光量制御系13では、(30)式から算出した発振周波数 f_{laser} が(33)式を満たす場合には、適当な発振周波数 f_{laser} が存在するものとしてステップ107に移行して、図1のレーザ電源22にエキシマレーザ光源2の発振周波数 f_{laser} を(30)式で算出される値に設定する。この後、ステップ109で走査露光が行われる。

【0048】また、ステップ105で、(30)式より算出される発振周波数 f_{laser} が(33)式の範囲内に無いときには、ステップ106に移行して露光量制御系23は図1の可変NDフィルタ板4における透過率を1段低い透過率に設定する。即ち、単一パルス当たりのエネルギーを下げることに、小さい露光ドーズ量に対応する。その後、動作はステップ103に戻り、主制御系14がエキシマレーザ光源2にダミー発振を行わせるのに対応して、露光量制御系13はパルスレーザ光LBの1パルス当たりのエネルギー E_{pulse} を求めた後、(27)式からステージの最大走査速度で決まる露光ドーズ量の下限値 $S_{D-\text{min}}$ を求める。以下は上述の動作と同様に、最適露光ドーズ量 S_D とその下限値 $S_{D-\text{min}}$ との比較結果に応じてステージの走査速度 V_{scan} 、又は発振周波数 f_{laser} の制御が行われる。但し、この際にも(33)式を満たす発振周波数 f_{laser} が存在しないときには、可変NDフィルタ板4の透過率が更に低い透過率に設定される。

【0049】図4の実線の曲線33は、本例でこのように露光量制御を行った場合に得られるスループットF(単位時間当たりのウエハの処理枚数)の一例を示し、図4の横軸はウエハ上のフォトレジストの最適露光ドーズ量 S_D であり、縦軸はその最適露光ドーズ量 S_D でのスループットFである。図4に示すように、最適露光ドーズ量 S_D が大きい範囲、即ちフォトレジストの感度が低い範囲では、ステージの走査速度 V_{scan} を低くするためスループットFは小さい。そして、フォトレジストの感度が高まり最適露光ドーズ量 S_D が小さくなって、この S_D が(27)式の下限值 $S_{D-\text{min}}$ (図4ではQ1で表されている)に達すると、ステージの走査速度が最大値となってスループットFは最大値F1となる。更に最適露光ドーズ量 S_D が小さくなくても、しばらくはエキシマレーザ光源2の発振周波数 f_{laser} の制御に切り換わるためスループットFは最大値F1を維持する。しかしながら、最適露光ドーズ量 S_D がQ2まで小さくなると、(33)式が満たされなくなって可変NDフィルタ板4の透過率の変更、及びステージの走査速度 V_{scan} の制御が行われてスループットFはF2まで低下する。

【0050】その後、最適露光ドーズ量 S_D がQ2から更に小さくなると、ステージの走査速度 V_{scan} が高くなるためにスループットFは上昇し、最適露光ドーズ量 S_D

であるという条件を合わせると次のようになる。

S_D がQ3に達した時点で再びスループットFは最大値F1となり、以下スループットFは周期的にはばF1を維持してはF2からF1へと変化する。これに対して、従来例ではエキシマレーザ光源2の発振周波数 f_{laser} の制御が行われないために、図4において、最適露光ドーズ量 S_D がQ1に達してからはすぐに減光機構における減光率の変更が行われ、これに対応してステージの走査速度 V_{scan} の制御が行われるため、点線の曲線34で示すようにスループットFはF3(<F2)まで低下する。そして、最適露光ドーズ量 S_D が更に小さくなるにつれて、スループットFはほぼF3とF1との間を往復するように変化する。従って、本例のようにエキシマレーザ光源2の発振周波数を制御して露光量制御を行うことによって、フォトレジストの感度が高く、最適露光ドーズ量 S_D が低い範囲でのスループットFを高めることができることが分かる。

【0051】なお、上述の実施の形態では、減光機構として可変NDフィルタ板4が使用されているが、減光機構としては他の機構を使用してもよい。また、上述の実施の形態では露光領域31の走査方向の幅 W_s は一定とされているが、この幅 W_s の制御を組み合わせるようにしてもよい。このように本発明は上述の実施の形態に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得る。

【0052】

【発明の効果】本発明の走査型露光装置によれば、感光材料の感度が高くなり適正露光量が小さくなってステージの走査速度が最高速度に達した後は、パルス光の発振周波数の制御によって連続的に露光量を制御できるため、パルス光を用いて高感度の感光材料に露光を行う場合でも、ステージの走査速度を高く維持したまま適正露光量を得ることができる。従って、露光工程のスループットを高めることができる。

【0053】また、(8)式が成り立つ場合には、所定の露光量均一性を得るための最小露光パルス数以上のパルス数で露光するという条件を満たした上で、パルス光の発振周波数の制御によって露光量を制御できる範囲が確保される。また、(9)式を満たす露光量 S_D に対して(10)式、(11)式を満たす発振周波数で露光を行う場合には、適正な露光量が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による走査型露光装置の実施の形態の一例の投影露光装置を示す一部を断面とした構成図である。

【図2】図1の投影露光装置により走査露光が行われるウエハ上のショット領域を示す平面図である。

【図3】その実施の形態における露光量制御動作の一例を示すフローチャートである。

【図4】その実施の形態において得られるスループットの一例を示す図である。

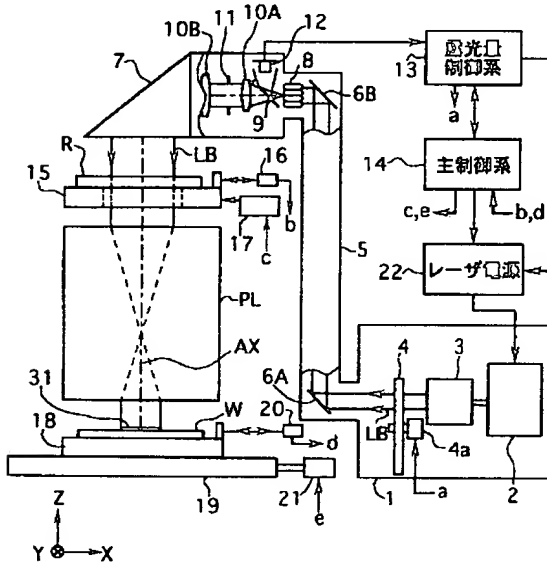
【図5】従来の露光量制御動作の一例を示すフローチャートである。

【符号の説明】

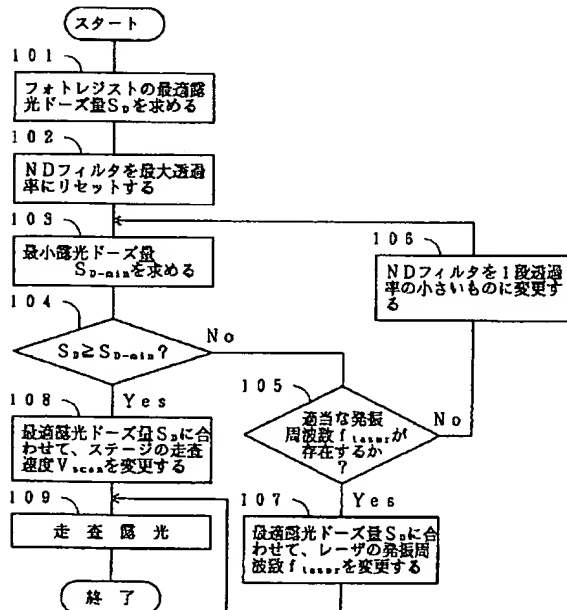
- 1 光源系
- 2 エキシマレーザ光源
- 4 可変NDフィルタ板
- 12 インテグレートセンサ

- 13 露光量制御系
- 14 主制御系
- R レチクル
- PL 投影光学系
- W ウエハ
- 15 レチクルステージ
- 19 XYステージ
- 22 レーザ電源
- 31 ウエハ上の露光領域

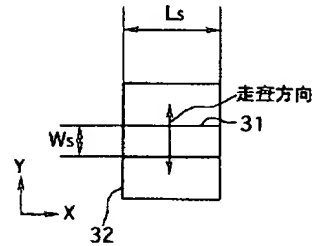
【図1】



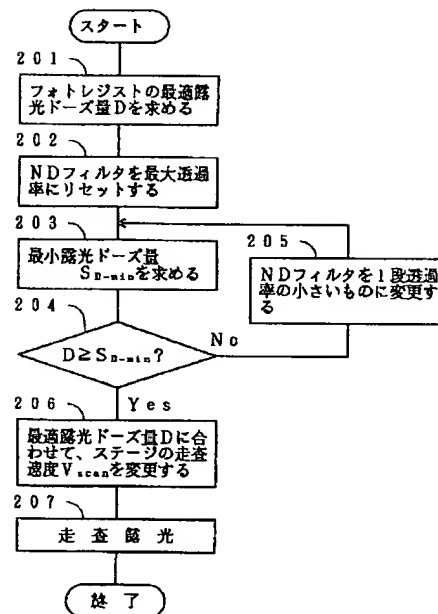
【図3】



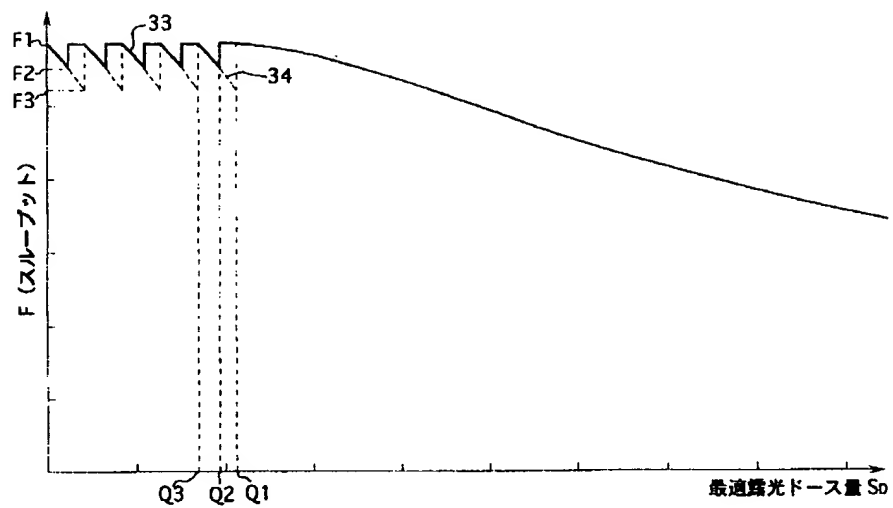
【図2】



【図5】



【図4】



THIS PAGE BLANK (USPTO)